动 物 学 研 究 2005, Feb. 26 (1): 47-54 CN 53-1040/Q ISSN 0254-5853
Zoological Research

围垦滩涂不同生境冬季大型底栖动物群落结构

葛宝明，鲍毅新*，郑 祥
(浙江师范大学 生态研究所，浙江 金华 321004)

摘要：通过2004年1月对杭州湾南岸慈溪围垦后滩涂湿地不同生境大型底栖动物的取样调查，研究了围垦滩涂湿地中的芦苇干地（PCDS）、芦苇潮地（PCMS）、芦苇水地（PCIS）、互花米草干地（SADS）、互花米草潮地（SAMS）、互花米草水地（SAIS）、混合植被干地（ADS）、养殖水塘（UP）、荒废水塘（DP）9类生境的底栖动物群落结构及其多样性特征，分析了影响围垦后滩涂底栖动物群落的主要因素。取样共获得13种大型底栖动物，隶属2门3纲7目，其中大部分为软体动物腹足类和节肢动物甲壳类，底表生活型和底内生活型占优势。9类生境中的大型底栖动物群落的Shannon-Wiener多样性指数（H'）为SAMS > PCMS > SADS > PCDS = SAIS > PCIS > ADS > DP > UP，Pielou均匀度指数（J）为SAMS > PCMS > SADS > PCDS > ADS > SAIS > PCIS > DP > UP，和Simpson优势度指数（D）为PCMS > SAMS > SADS > PCDS > ADS > SAIS > PCIS > DP > UP。群落系统聚类显示9类生境可聚为4大类，分别是潮地类、干地类、水地类和水塘类。潮地、干地、水地和水塘中的物种数分别为10、6、10、5种，动物密度分别为45、40、87、240 ind./m^2，生物量分别为23.67、15.11、14.81、8.23 g/m^2；H'、J、D的值均沿潮地→干地→水地→水塘方向递减。二维非度量多维标度群落排序的结果支持聚类排序的结果，并且由二维排序图推测影响群落排序的主要因素是水文条件和群落的复杂程度；分析亦表明，滩涂围垦后大型底栖动物群落主要受水文条件的影响，此外底质、植被演替、人工干扰和物种间关系对其也有影响。

关键词：大型底栖动物群落；物种多样性；围垦滩涂
中图分类号：Q958.1 **文献标识码**：A **文章编号**：0254-5853(2005)01-0047-08

Structure of Macrobenthic Communities in Different Habitats at the Diked Tidal Flat in Winter

GE Bao-ming, BAO Yi-xin*, ZHENG Xiang
(*Institute of Ecology, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China*)

Abstract: Based on the data collected from 9 types of habitat samplings on the macrobenthic community in the diked tidal flat at the south bank of Hangzhou Bay in Jan. 2004, the composition of species, diversity, and community structure were studied, and 9 types of habitats selected were *Spartina alterniflora* moist soil (SAMS), *Phragmites communis* moist soil (PCMS), *S. alterniflora* dry soil (SADS), *P. communis* dry soil (PCDS), *S. alterniflora* inundated soil (SAIS), *P. communis* inundated soil (PCIS), admixture dry soil (ADS), using pond (UP), and desolation pond (DP). From 9 types of habitats, total 13 species were collected, which are belonged to 7 order, 3 classes, 2 phylums and dominated by the living types of surface and surface below, and most of them are the arthropod and crustacea. Shannon-Wiener indexes (H') of the macrobenthic communities are followed SAMS > PCMS > SADS > PCDS = SAIS > PCIS > ADS > DP > UP, Pielou indexes (J) are SAMS > PCMS > SADS > PCDS > ADS > SAIS > PCIS > DP > UP, and Simpson indexes (D) are PCMS > SAMS > SADS > PCDS > ADS > SAIS > PCIS > DP > UP. Base on the data of four times extracting from the density of macrobenthic communities, using the hierarchical cluster of between-groups linkage method, 9 types of habitats are classed 4 groups, i.e. the moist soil, dry soil, water soil and pond groups. The numbers of species of the moist soil, dry soil, water soil and pond are 10, 6, 10 and 5, the average densities are 45, 40, 87 and 240 ind./m^2, and the biomasses are 23.67, 15.11, 14.81 and 8.23 g/m^2, respectively; H', J and D tend towards moist soil > dry soil > water soil > pond. Using the Non-matric Multi-dimensional Scaling method, 9 macrobenthic communities are displayed in the 2-dimensional ordinal configuration, and the dimension 1 implies being concern to the hydrology, the

收稿日期：2004-07-21；接受日期：2004-10-07
基金项目：浙江省自然科学基金资助项目（ZE0204）
* 通讯作者（Corresponding author），E-mail：baoyix@21cn.com

dimension 2 to the complexity of habitats. Also the analysis suggests that the macrobenthic community at the diked tidal flat may be affected by the complex power of hydrology condition, characteristics of sediment, succession of vegetation and relation among the species.

Key words: Macrobenthic community; Biodiversity; Diked tidal flat

随着人们对自然资源的不断开发利用，特别是对土地需求的不断增加，人多地少成为制约我国东部经济发展的重要因素之一。在沿海地区扩大土地面积的主要方式就是通过滩涂围垦。围垦后的滩涂湿地，由于人工开发利用的程度和方式不同，其底栖动物群落构成也会不同。

滩涂底栖动物是滩涂湿地生态系统的重要组成部分，其分布不仅与滩涂底质水文等理化环境密切相关（Baretla & Ruardij，1988；Mc Lusky，1989)，而且与不同时间和空间尺度上的自然或人为干扰相关，上述因素的变化均可导致底栖动物群落结构和多样性发生变化（Hall & Harding，1997；Drake & Arias，1997)。研究表明，受人类干扰严重的生态系统与原生生态系统相比，其生物群落结构和功能都有改变，其物种多样性特征也发生了变化（Arbubov，1982；Bi & Feng，1996)。本文根据2004年1月的调查结果，对杭州湾南岸慈溪围垦滩涂大型底栖动物群落结构及多样性进行了研究，试图揭示滩涂湿地围垦后不同生境中底栖动物群落结构及多样性的基本特征。

1 研究地点概况

研究地点位于浙江省杭州湾南岸慈溪市庵东镇东一气垫船老码头附近的围垦滩涂区内（30°19′25″N，121°15′28″E)。该滩涂于2002年左右完成围垦，围垦区内靠近堤坝一侧建有河道，区内水体不与河道连通，河道阀门和杭州湾相连，杭州湾盐度为10~20（GZPSRCI，1988)，堤坝外侧的滩涂植被稀少，有少量的海三棱藨草（*Scirpus mariqueter*)。通过调查了解到，由于地势抬高，围垦区大部分已基本不受杭州湾潮水的影响。围垦区植被茂盛，多为互花米草（*Spartina alterniflora*）以及芦苇（*Phragmites communis*)，区内部分土地辟为水塘用于以鱼类为主的水产养殖。互花米草和芦苇植被相互镶嵌成斑块状，平均高度170 cm左右，互花米草和芦苇盖度约分别为95%和90%。研究期间芦苇的地上部分大多干枯，互花米草则大部分为黄绿色。

我们将分布在主要道路附近以及一些地势较高处的生境类型称为干地；干地中互花米草和芦苇在斑块之间有部分混杂区域，称为混合植被干地；比较潮湿的地表生境类型称为潮地；在潮沟边的以及在靠近堤坝一些水洼附近常被水淹没的生境类型称为水地。干地、潮地和水地的土壤含水量分别为15%、25%和40%左右，其中干地的土壤比较板结，潮地土壤松散，水地土壤比较稀散。另外还有两种水塘，仍在使用的和荒弃不用的。

2 研究方法

2.1 样地设计和取样

选取9类具代表性的生境如下：芦苇干地（*Phragmites communis* dry soil，PCDS)，芦苇潮地（*P. communis* moist soil，PCMS)，芦苇水地（*P. communis* inundated soil，PCIS)，互花米草干地（*Spartina alterniflora* dry soil，SADS)，互花米草潮地（*S. alterniflora* moist soil，SAMS)，互花米草水地（*S. alterniflora* inundated soil，SAIS)，混合植被干地（admixture dry soil，ADS)，养殖水塘（using pond，UP)，荒废水塘（desolation pond，DP)。

在9类生境中，各选取一个5 m×5 m左右的区域，随机取5个样方，每个样方面积0.1 m^2，深度20 cm，采集泥样，用1 mm孔径网筛进行淘洗，获取大型底栖动物标本；动物标本临时用10%福尔马林固定，带回室内分类计数；然后用吸水纸吸干标本表面固定液，称重；把动物标本保存于70%的酒精中。除采集定量样品外，调查期间还在所调查生境内采集定性样品。

2.2 底栖动物生活型

本研究地点环境变化幅度相对较大，包括了水环境和陆地环境等，故参考Day et al（1989)、Yang et al（1996）及Fan et al（2000）等的工作，将大型底栖动物分为下面3种生活型：①底表生活型（group of surface)，包括腹足纲动物、甲壳纲等足目（Isopoda）的鼠妇（*Porcellio* sp.）和双尾目（Diplura）昆虫1种等。②底内生活型（group of surface below)，包括甲壳纲十足目（Decapoda）的

蟹类。③水生生活型（living in water），主要是适合水体中生活的大型底栖动物，包括水生的双翅目(Diptera)昆虫幼虫1种及端足目（Amphipoda）的中华蜾蠃蜚（*Corophium sinensis*）。

2.3 数据分析

将每类生境5个样方采集得到的数据合并为一个大样方数据，采用以下公式（Pielou，1975；Ma & Liu，1994；Ma，1994）测定大型底栖动物群落的生态特征值：群落（欧氏）距离（Euclidean distance）$ED=\sqrt{\sum_{i=1}^{s}(X_{ij}-X_{ik})^2}$；Shannon-Wiener多样性指数 $H'=-\sum_{i=1}^{s}P_i\ln P_i$；Pielou均匀性指数 $J=H'/\ln s$；Simpson优势度指数 $D=\sum_{i=1}^{s}P_i^2$。式中X_{ij}为i物种在j样方中的密度的4次方根；P_i指i物种在群落中的个体比例即$P_i=n_i/N$，n_i为该样区内第i个类群的个体数量，N为样区内所有种的个体数量；s为样区内种类的数目。

3 结果与分析

3.1 物种构成

在定性取样中共获得隶属2门3纲7目13种的大型底栖动物，这些动物在9类生境中出现的频率见表1。

在调查中发现，围垦后滩涂中的主要动物为软体动物腹足类和节肢动物甲壳类11种，以及节肢动物昆虫类双翅目幼虫和双尾目共2种。其中腹足类30.77%，甲壳类53.85%，昆虫类15.38%；底表生活型46.15%，底内生活型38.46%，水生生活型15.38%。9类生境3种生活型的物种数分布如图1。

3.2 群落聚类

对9类生境的大型底栖动物群落进行组间平均聚类法的系统聚类分析（Hierarchical Cluster），得到群落距离矩阵（表2）以及系统聚类树枝图（图2）。从表2和图2可以看出，通过以不同生境大型底栖动物群落结构物种密度4次方根数据为基础的

表1 大型底栖动物在9类生境中出现的频率

Tab. 1 Frequencies of macrobenthos at 9 types of habitats

类别 Category	SAMS	PCMS	SADS	PCDS	ADS	SAIS	PCIS	UP	DP
绯拟沼螺 *Assiminea latericera*	+++	++	+++	+++	++	+	+		
短拟沼螺 *Assiminea brevicula*	+	+	+	+	+	+	+		
尖锥拟蟹守螺 *Cerithidea largillierti*	+++	+++	++	++	++	++	+++		
石磺 *Onchidium verrulatum cuvier*	+	+							
弧边招潮 *Uca arcuata*	++	++	++	++	++	++	++	+	+
泥蟹 *Ilyoplax* sp.	++	++	++	++	++	+	+	+	+
沈氏厚蟹 *Helice sheni*	+	+				+	+		
伍氏厚蟹 *Helice wuana*	+	+				+	+		
红螯相手蟹 *Sesarma haematocheir*	+	+							
中华蜾蠃蜚 *Corophium sinensis*						++	++	++	+++
鼠妇 *Porcellio* sp.	++	++	+	+	+				
双翅目 Diptera						+++	+++	+++	+++
双尾目 Diplura						+	+		+

PCDS：芦苇干地（*Phragmites communis* dry soil）；PCMS：芦苇潮地（*P. communis* moist soil）；PCIS：芦苇水地（*P. communis* inundated soil）；SADS：互花米草干地（*Spartina alterniflora* dry soil）；SAMS：互花米草潮地（*S. alterniflora* moist soil）；SAIS：互花米草水地（*S. alterniflora* inundated soil）；ADS：混合植被干地（Admixture dry soil）；UP：养殖水塘（Using pond）；DP：荒废水塘（Desolation pond）。

+：表示仅在定性取样中采集到，或者在该生境定量取样的5个样方中的1个样方出现的种类（Means that the species was found only in the qualitative sampling, or appeared in one sample among the quantitative five samplings）；++：表示在定量取样的5个样方中的2和3个样方中出现的种类（Means that the species appeared in two and three samples among the quantitative five samplings）；+++：表示在定量取样的5个样方中的4和5个样方中出现的种类（Means that the species appeared in four and five samples among the quantitative five samplings）。

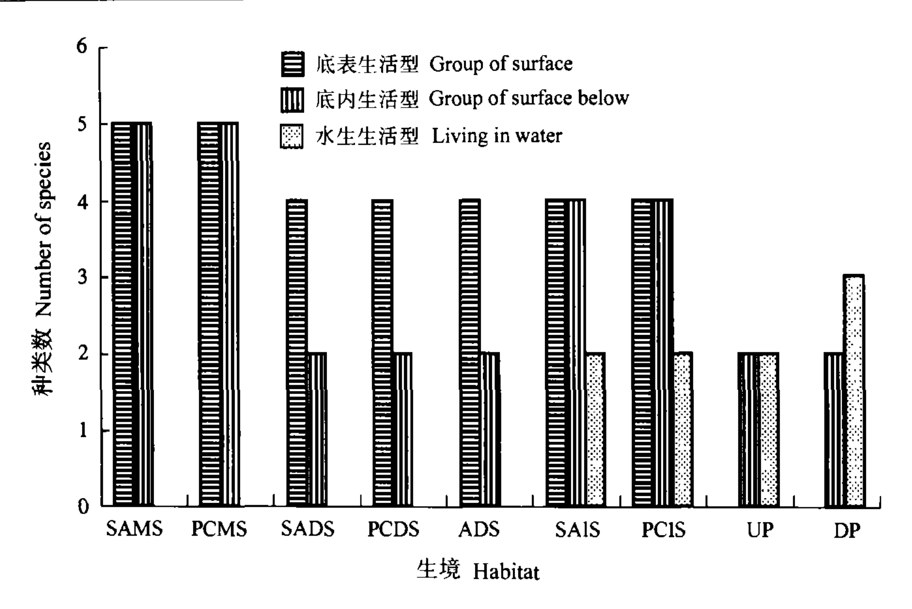


图 1 9类生境3种生活型物种的数目

Fig.1 The number of three life-style species at 9 types of habitats

生境类型缩写同表1（Habitats' abbreviations see Tab. 1)。

表 2 9类生境大型底栖动物群落距离矩阵

Tab. 2 Proximity matrix of macrobenthic communities in 9 types of habitats

生境 Habitat	SAMS	PCMS	SADS	PCDS	ADS	SAIS	PCIS	UP
PCMS	0.125							
SADS	3.031	2.750						
PCDS	3.002	2.815	8.471E-02					
ADS	3.161	3.048	6.952E-02	0.102				
SAIS	17.315	15.705	14.841	15.216	16.026			
PCIS	17.877	16.294	15.524	15.856	16.709	3.242E-02		
UP	29.363	27.385	25.270	26.225	26.454	4.601	4.907	
DP	32.576	30.598	28.483	29.438	29.667	5.285	5.574	0.410

生境类型缩写同表1（Habitats' abbreviations see Tab. 1)。

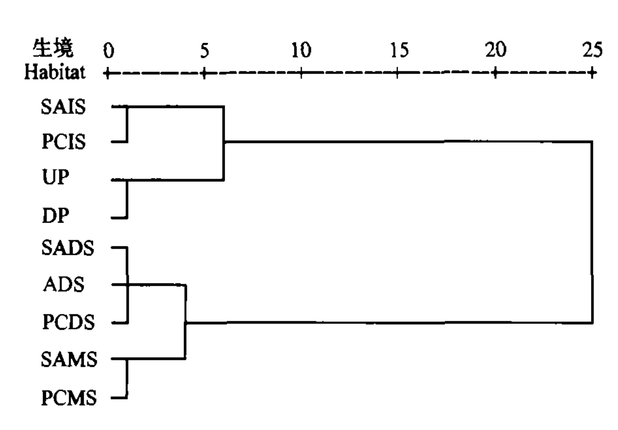


图 2 9类生境大型底栖动物群落系统聚类树枝图

Fig.2 Dendrogram of the macrobenthic communities in 9 types of habitats

生境类型缩写同表1（Habitats' abbreviations see Tab. 1)。

系统聚类分析，在距离约为0.125处可以将9类生境划分为4大类，潮地类、干地类、水地类和水塘类；在距离为5.092处可以将9类生境划分为2大类，水体生境类和陆地生境类。这也说明了围垦后的土地中大型底栖动物群落受水文条件影响很大。

以群落距离矩阵（表2）为基础，对大型底栖动物群落进行了非量度多维标度（Non-matric Multi-dimensional Scaling, MDS）的二维分析，结果见图3，其Stress值（协强系数）为0.003 85，Stress < 0.05说明图形吻合极好。通过图3可以看出，MDS排序图支持聚类分析的结果，而且，更直观地显示了潮地、干地、水地和水塘4大类生境之间的距离关系即相似程度的情况。

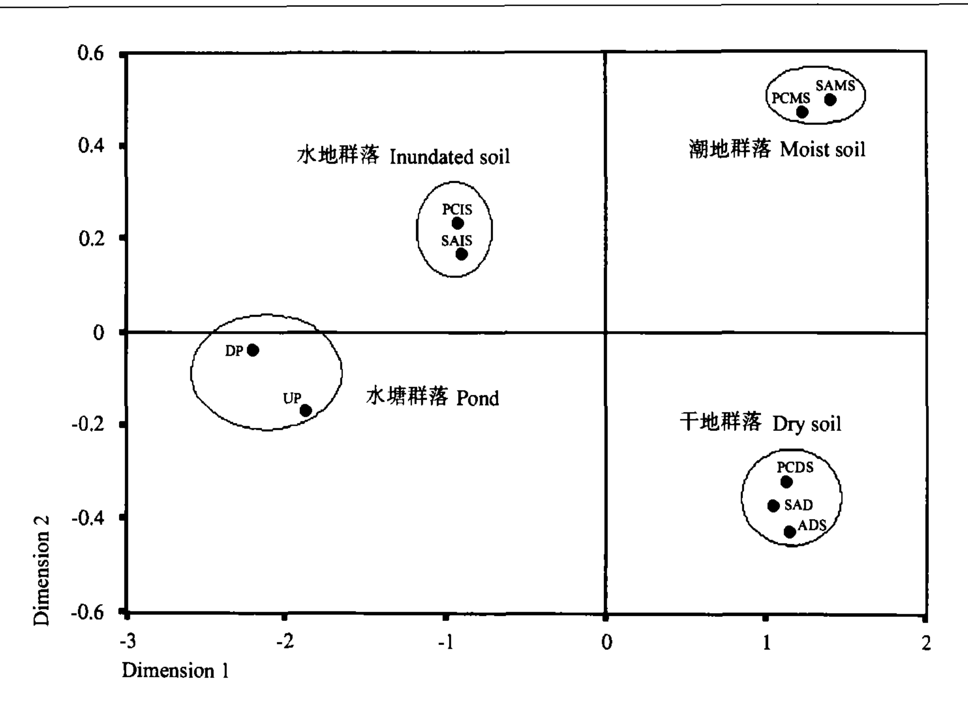


图 3 9类生境大型底栖动物群落二维非量度多维标度排序图（Stress = 0.003 85）
Fig.3 The 2-dimentional MDS ordinal configuration of the macrobenthic communities in 9 types of habitats (Stressb = 0.003 85)
生境类型缩写同表 1（Habitats' abbreviations see Tab. 1）。

表 3 9类生境中大型底栖动物群落生态学特征值
Tab. 3 Ecology index values of the macrobenthic communities at 9 types of habitats

生态指数 Ecology index	生境 Habitat								
	SAMS	PCMS	SADS	PCDS	ADS	SAIS	PCIS	UP	DP
Shannon-Wiener H'	1.20	1.19	0.92	0.85	0.80	0.85	0.84	0.24	0.43
Pielou J	0.87	0.86	0.84	0.75	0.73	0.62	0.60	0.22	0.39
Simpson D	0.30	0.36	0.29	0.25	0.22	0.20	0.20	0.02	0.09

生境类型缩写同表 1（Habitats' abbreviations see Tab. 1）。

3.3 动物多样性

9类生境中的大型底栖动物群落的生态学特征值如表 3：Shannon-Wiener 多样性指数 H'为 SAMS > PCMS > SADS > PCDS = SAIS > PCIS > ADS > DP > UP；Pielou 均匀度指数 J 有 SAMS > PCMS > SADS > PCDS > ADS > SAIS > PCIS > DP > UP；Simpson 优势度指数 D 有 PCMS > SAMS > SADS > PCDS > ADS > SAIS > PCIS > DP > UP。

将潮地、干地、水地和水塘 4 大类生境的大型底栖动物群落生态学特征值取均值得图 4，从中可发现：H'、J 和 D 均沿"潮地→干地→水地→水塘"方向递减。

3.4 动物密度与生物量

围垦滩涂的大型底栖动物密度以水塘（UP, DP）最高，水地（PCIS, SAIS）次之，潮地（SAMS, PCMS）再次之，干地（SADS, PCDS, ADS）最小；生物量（湿重）以潮地最大，干地和水地较接近，水塘最小（表4）。潮地和干地之间的密度相差不大，但潮地的生物量比干地高；水塘的密度最高而生物量最低，这是由于绝大部分是双翅目幼虫的缘故；水地中密度较高同样是因为有大量的双翅目昆虫幼虫，但生物量接近干地。

4 讨 论

4.1 群落结构

滩涂围垦后，由于利用方式的不同、水文条件的差别，以及植被的变化等因素的影响，造成了滩涂底栖动物群落结构的不同。我们在潮地发现 10 种大型底栖动物，在干地为 6 种，均系底表生活型和底内生活型种类；在水地发现10种，包括底表

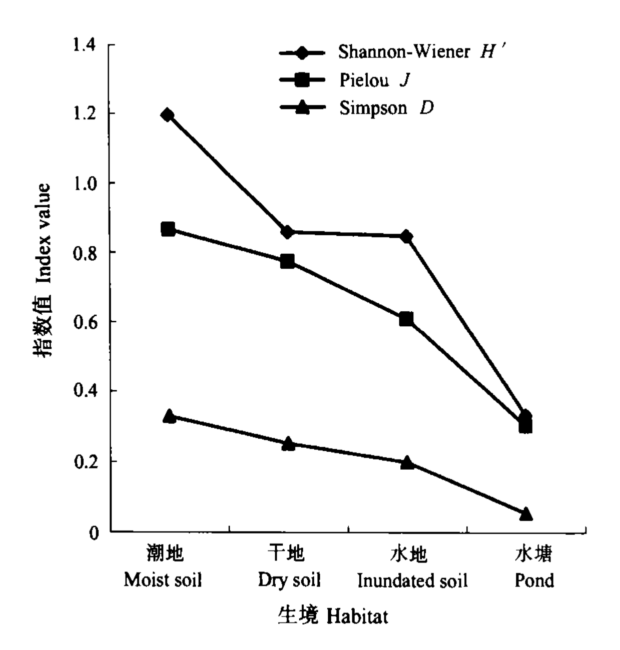


图 4 4大类生境中大型底栖动物群落生态学特征均值

Fig.4 Ecology average values of the macrobenthic communities at 4 groups of habitats

生活型、底内生活型和水生生活型；在水塘发现5种，为底内生活型和水生生活（图1）型。从物种生活型构成可以看出大型底栖动物对环境的适应情况。

在调查中发现，互花米草与芦苇植被对底栖动物群落结构组成上的影响不是很大。在同类生境中，两种植被下的物种构成没有差别，可能的原因是两种植被下的环境比较相似。在研究地点互花米草和芦苇都很茂密，总体高度、盖度等很接近，且根系都比较发达。

4.2 多样性

从表2和图3看出，Shannon-Wiener多样性指数、Pielou均匀度指数以及Simpson优势度指数均沿"潮地→干地→水地→水塘"方向递减，这种多样性分布格局是生境差异的反映。潮地作为连接干地和水地的生态过渡带，其种类较多，某一种类的优势程度也不太高，所以被检测的各项生态学指标均为最大。干地被检测的各项生态学指标位于其次，可能的原因是围垦后植被的大量生长改变了生境，使得生境多样化程度比水地高，从而使得大型底栖动物的多样性、均匀度和优势度等指标均处在较高的水平（Webster et al, 1998）。水地生境由于有植被且常被水覆盖，所以其中的生物多样性也比较高；水地也是连接潮地和滩涂上较大水洼的连接通道，但是由于双翅目昆虫幼虫的优势程度很高，所以其均匀度和优势度较低。水塘生境由于环境比较单一，而且双翅目昆虫幼虫的优势程度十分明显，所以被检测的各项生态学指标均较小；而荒弃水塘的水体中由于有大量的藻类，使得生境多样化程度稍高于养殖水塘，由此也可看出人类活动对群落生物多样性的影响。

表4 9类生境中大型底栖动物的密度与生物量

Tab. 4 Densities and biomasses of the macrobenthos at 9 types of habitats

项目 Item	生境 Habitat								
	SAMS	PCMS	SADS	PCDS	ADS	SAIS	PCIS	UP	DP
密度 Density (ind./m^2)	52	38	34	40	46	80	94	220	260
均值 Average (ind./m^2)	45		40			87		240	
生物量 Biomass (g/m^2)	26.19	21.14	15.09	13.61	16.64	15.11	14.50	8.19	8.26
均值 Average (g/m^2)	23.67		15.11			14.81		8.23	

生境类型缩写同表1 (Habitats' abbreviations see Tab. 1)。

Zhu & Lu (2003) 对长江口九段沙潮间带底栖动物的研究认为，芦苇潮滩的底栖动物多样性大于互花米草潮滩，与本研究结果不同。对此我们认为，互花米草为外来种，芦苇为本地种，互花米草对潮滩生境有不良影响；其次，在Zhu & Lu (2003) 的研究中，芦苇处于高潮带的高潮线以上的部分，互花米草位于高潮带，两类植被所处位置不同，所处位置的水文条件亦不同，可能也是造成芦苇中底栖动物多样性不同于互花米草的原因。在本研究中，芦苇和互花米草处于相似的生境，加上在冬季群落的生物多样性相对较低，而此时互花米草还保持大部完好的叶、根、茎等，芦苇则大部枯黄，尽管两类植被的群落组成种类相近，但前类植被的状态比后一类的好；由此定量研究得出3类互花米草生境底栖动物群落的Shannon-Wiener多样性指数和Pielou均匀度指数均相应略大于芦苇生境，

这也说明了动物对环境的适应性。

4.3 群落聚类和排序

许多研究者认为，仅依靠多样性指数来评价群落结构的相似性是不可靠的，应该引入多元分析的手段或者采用聚类分析的方法（Ma et al, 1997）。目前，聚类分析方法在群落生态研究中常被采用，本文采用的是将密度原始数据4次开方，减少其中个别优势物种对整个群落影响的权重，然后利用欧氏距离来进行组间平均聚类的方法。这很适合利用软件分析，也符合统计运算的一般要求，对于差异较大的样本群尤其适宜。MDS被认为是最好的排序技术之一，用它来分析不同样方群落结构的距离关系（即相似性）十分适宜，直观的将群落标于多维坐标中，尤其适合有连续梯度变化的群落关系分析，并且可以试图寻求不同维度上所代表的含义。

系统聚类以及MDS排序结果表明，大型底栖动物群落结构是与环境密切相关的，生境相似程度高，其大型底栖动物群落的聚类和排序距离就小。本研究选择的9类生境在聚类上分为潮地类、干地类、水地类和水塘类4大类型，在排序图上也能很好的体现出来。从二维排序图上可以进行维度含义的推测，如图3中水地群落和水塘群落在第一维的靠左端，潮地群落和干地群落在第一维的右方，因此第一维度可能与水文条件密切相关；水地群落和潮地群落在第二维的上方，水塘群落和干地群落在第二维的下方，而水地群落和潮地群落的环境都是群落过渡带类型的生境，水塘群落和干地群落都是在过渡带的两端，可以推测第二维度代表的含义可能是生境的复杂程度。

4.4 密度与生物量

在本研究中，土壤的含水量、土表是否有水覆没以及土地的利用方式等情况的不同，造成了适应物种的不同：在水塘类生境中，动物密度高达240 ind./m^2，其中双翅目幼虫占90.00%，但生物量只有0.90 g/m^2；在水地生境中，双翅目昆虫幼虫也占优势，密度达70.11%，其生物量只有0.22 g/m^2。研究表明，围垦后滩涂，水体生境中的大型底栖动物密度明显大于陆生生境，但是生物量却是陆生生境大于水体生境，主要原因是陆地生境中的大型底栖动物的个体单重比较高，如弧边招潮，单个个体重量可以达到2~5 g。

4.5 影响滩涂围垦后大型底栖动物群落的因素

水文条件是影响滩途围垦后大型底栖动物群落的重要因素之一。滩涂生境如果不再受到潮水的影响，其陆生化现象变得明显，表现为大型底栖动物种类减少以及陆生昆虫种类增加。本研究发现的大型底栖动物大部分是软体动物腹足类和节肢动物甲壳类，没有发现软体动物瓣鳃类和环节动物多毛类，同时在干地和潮地上还获得了一些陆生节肢动物种类，如鳞翅目（Lepidoptera）、鞘翅目（Coleoptera）、双尾目（Diplura）、双翅目（Diptera）、同翅目（Homoptera）、蜘蛛目（Araneae）等，证实了围垦区内的土地明显陆生化。Yuan & Lu (2001)的研究表明，围垦后的滩涂如果不受潮水的影响，陆生化进程很快。本研究结果也提示，围垦后没有潮水影响，陆生化将是不可避免的。

底质、植被演替情况是影响大型底栖动物群落的重要因素。围垦后，如果没有人工改造和干扰，植被的扩展是很快的。研究发现在干地、潮地和水地生境之间的大型底栖动物群落结构是有差别的，潮地、水地的大型底栖动物种类比干地多。在互花米草和芦苇植被的同类生境中没有明显的区别，至少在冬季没有表现出差异，但可以推测，随着陆生化情况的加重，碱蓬（*Suaeda* sp.）等耐盐碱陆生植物将取代互花米草和芦苇等湿地植物成为优势种，土壤水分的大量蒸发导致地表板结，使得原有的大多数大型底栖动物无法生存。

人为干扰在很大程度上也能影响围垦后大型底栖动物群落。研究表明，人为地改变围垦后滩涂的生境类型，对大型底栖动物群落的影响也是很大的。人工开发后的水塘中，大型底栖动物种类下降到4~5种，而潮地、干地和水地的物种数分别为10、6和10种；并且水塘中的大型底栖动物群落结构比较单调，双翅目昆虫幼虫占绝大多数。

生物之间的关系也是影响大型底栖动物群落结构的重要因素，如：竞争、捕食等。围垦后生境的变化是大型底栖动物群落结构变化的直接原因，其后果可能通过影响整个生态系统而体现出来。就本研究围垦区来说，由于围垦后互花米草和芦苇的大量生长，水洼地的不断消失，陆生化的情况越来越明显，导致了陆生动物种类的增加，使得一些大型底栖动物在减少了生存空间的同时，又增加了被捕食的风险，环节动物多毛类以及软体动物瓣鳃类物种的消失也说明了这种情况。有研究表明（Lu, 2003），围垦区内水域面积小于20%，或者植被面积大于60%时鸻鹬类的觅食就会受到影响。围垦区

内水域大小的变化，可能会影响鸟类的觅食，这将间接地改变大型底栖动物群落的结构。

参考文献:

Arbubov R. 1982. Species diversity and phasing of disturbance [J]. *Ecology*, **63**: 289-293.

Baretla J, Ruardij P. 1988. Tidal Flat Estuaries [M]. New York: Springer-Verlag.

Bi HS, Feng W. 1996. The diversity of macrobenthos in Jiaozhou Bay [J]. *Marine Sciences*, **6**: 58-62. [毕洪生, 冯 卫. 1996. 胶州湾底栖动物多样性初探. 海洋科学, **6**: 58-62.]

Day JW, Hall CAS, Kemp WM, Yanez-Arancibia A. 1989. Estuarine Ecology [M]. New York: Wiley Interscience. 339-376.

Drake P, Arias AM. 1997. The effect of aquaculture practices on the benthic macro-invertebrate community of a lagoon system in the bay of Cadiz (Southwestern Spain) [J]. *Estuaries*, **20**: 677-688.

Fan HQ, He BY, Wei SQ. 2000. Influences of sand dune movement within the coastal mangrove stands on the macrobenthos *in situ* [J]. *Acta Ecologica Sinica*, **20** (5): 722-727. [范航清, 何斌源, 韦受庆. 2000. 海岸红树林地沙丘移动对林内大型底栖动物的影响. 生态学报, **20** (5): 722-727.]

GZPSRCI (Group of Zhejiang Province Seacoast and Resource Comprehensive Investigation). 1988. Report of Zhejiang Province Seacoast and Resource Comprehensive Investigation [R]. Beijing: Ocean Press. [浙江省海岸带和海涂资源综合调查报告编写委员会. 1988. 浙江省海岸带和海涂资源综合调查报告. 北京: 海洋出版社.]

Hall SJ, Harding MJC. 1997. Physical disturbance and marine benthic communities: The effects of mechanical harvesting of cockles on non-target benthic in fauna [J]. *Journal of Applied Ecology*, **34**: 497-517.

Lu JJ. 2003. Estuary Ecology [M]. Beijing: Ocean Press. [陆健健. 2003. 河口生态学. 北京: 海洋出版社.]

Ma KP. 1994. Measurement of biodiversity [A]. In: Qian YQ, Ma KP. Principle and Methods of Biodiversity Studies [M]. Beijing: Chinese Scientific & Technological Press. 141-165. [马克平. 1994. 生物多样性的测度方法. 钱迎倩, 马克平. 生物多样性研究的原理与方法. 北京: 中国科学技术出版社. 141-165.]

Ma KP, Liu YM. 1994. Methods of measure the bio-communities biodiversity: Ⅰ. α diversity (Ⅱ) [J]. *Chinese Biodiversity*, **2** (4): 231-239. [马克平, 刘玉明. 1994. 生物群落多样性的测度方法: Ⅰ. α多样性的测度方法 (下). 生物多样性, **2** (4): 231-239.]

Ma ZY, Liu H, Wang HQ, Wang SQ. 1997. Multivariate analysis of community structure on macrobenthos [J]. *China Environmental Science*, **17** (4): 297-230. [马藏允, 刘 海, 王惠卿, 王世权. 1997. 底栖生物群落结构变化多元变量统计分析. 中国环境科学, **17** (4): 297-230.]

Mc Lusky DS. 1989. The Stuarine Ecosystem [M]. New York: Chapman & Hall.

Pielou EC. 1975. Ecological Diversity [M]. New York: John Wiley. 16-51.

Webster PJ, Rowden AA, Attrill MJ. 1998. Effect of shoot density on the infaunal macro-invertebrate community within a *Zostera marina* sea-grass bed [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **47**: 351-357.

Yang DJ, Wang YL, Ma XT. 1996. Oceanic Invertebrates in North China [M]. Beijing: Higher Educational Press. 503-506. [杨德渐, 王永良, 马绣同. 1996. 中国北部海洋无脊椎动物. 北京: 高等教育出版社. 503-506.]

Yuan XZ, Lu JJ. 2001. Influence of diking on the benthic macro-invertebrate community structure and diversity in the south bank of the Changjiang Estuary [J]. *Acta Ecologica Sinica*, **21** (10): 1642-1647. [袁兴中, 陆健健. 2001. 围垦对长江口南岸底栖动物群落结构及多样性的影响. 生态学报, **21** (10): 1642-1647.]

Zhu XJ, Lu JJ. 2003. Functional groups of zoobentos in the intertidal zone of Jiuduansha, the Yangtze River Estuary [J]. *Zool. Res.*, **24** (5): 355-361. [朱晓君, 陆健健. 2003. 长江口九段沙潮间带底栖动物的功能群. 动物学研究, **24** (5): 355-361.]